

PENGUKURAN PARTIKEL DI *CLEANROOM* TFME POLITEKNIK NEGERI BATAM MENGGUNAKAN STANDAR ISO 14644-1

Aditya Gautama *, B. Budiana*

* Politeknik Negeri Batam

Jurusan Teknik Elektro

Jl. Ahmad Yani, Tlk. Tering, Kec. Batam Kota, Kota Batam, Kepulauan Riau 29461

E-mail: adityagautama@polibatam.ac.id

Abstrak

Teknologi dunia elektronika pada saat ini berkembang dengan sangat pesat. Kemampuan komputasi yang terus meningkat diiringi dengan semakin berkurangnya ukuran komponen elektronika yang digunakan pada sebuah *chip* atau IC (*Integrated Circuit*). Ukuran komponen yang telah mencapai nanometer menyebabkan komponen sangat sensitif terhadap pengotor dalam bentuk partikel. Tempat fabrikasi khusus dalam bentuk *cleanroom* diperlukan agar jumlah partikel pengotor dapat dikontrol dan kerusakan akibat partikel pengotor pada produk dapat dikurangi. Salah satu standar yang digunakan untuk mengklasifikasi *cleanroom* dan mengukur partikel di dalamnya adalah ISO 14644-1. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran partikel sesuai dengan standar ISO 14644-1 untuk mengukur jumlah partikel di dalam *cleanroom* TFME. Hasil pengukuran mengklasifikasikan *cleanroom* di TFME sesuai dengan ISO *class 7* yang berarti sistem penyaringan partikel masih bekerja dengan baik.

Kata kunci: Cleanroom, IC, partikel.

Abstract

Electronics Technology is currently developing very rapidly. Computational capabilities that continue to increase are accompanied by a decrease in the size of the electronic components used on a chip or IC (*Integrated Circuit*). The size of the components that have reached nanometers makes the components very sensitive to impurities in the form of particles. A special fabrication place in the form of a *cleanroom* is needed so that the number of impurity particles can be controlled and the damage caused by impurity particles on the product can be reduced. One of the standards used to classify a *cleanroom* and measure the particles in it is ISO 14644-1. In this study, particle measurements were carried out in accordance with ISO 14644-1 standards to measure the number of particles in the TFME *cleanroom*. The measurement results classify the *cleanroom* in TFME into ISO Class 7. This is consistent with the initial TFME *cleanroom* design, meaning that the particle filtration system is still in a good condition.

Keywords: Cleanroom, IC, particle

1. Pendahuluan

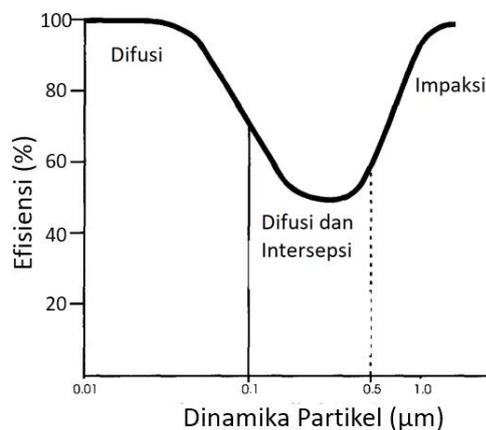
Cleanroom merupakan ruangan yang dirancang dan dibuat dengan menggunakan teknologi tertentu untuk dapat mengontrol konsentrasi partikel di udara dan partikel pembawa mikroba [1][2][3]. *Cleanroom* dapat melindungi produk elektronik, personal dan peralatan elektronik dari berbagai kontaminan udara melalui daerah yang bersih/kualitas udara yang bersih dan terkontrol. Kualitas udara yang bersih dapat

dicapai melalui filter udara partikulat efisiensi tinggi (*high- efisiensi particulate air-HEPA*) kontrol suhu dan kelembapan, mekanisme pengontrolan, pergerakan udara dan pergantian udara, dan pemberian tekanan [4].

HEPA yang digunakan memiliki 3 mekanisme penyaringan partikel. Mekanisme pertama adalah difusi. Pada mekanisme ini, partikel dengan ukuran kecil bergerak secara acak di sekitar aliran udara.

Ketika aliran udara berbelok melewati serat HEPA filter, partikel akan tersangkut pada serat. Mekanisme kedua adalah *impaction*. Pada mekanisme ini, partikel yang berukuran besar yang mengalir mengikuti aliran udara akan tetap bergerak lurus ketika aliran udara berbelok melalui serat. Gerakan lurus ini akibat momentum dari partikel tersebut dan menyebabkan partikel tersangkut pada serat. Mekanisme ketiga adalah *interception*. Mekanisme ini terjadi ketika mengikuti aliran udara yang berbelok melalui serat, partikel bergesekan dengan serat dan tertangkap [5].

Kurva efisiensi penyaringan partikel oleh filter udara [5], dengan gambar termodifikasi penulis, adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Efisiensi HEPA filter terhadap diameter partikel

Berdasarkan metode ventilasi, *cleanroom* dibedakan menjadi dua macam yaitu *cleanroom* dengan ventilasi aliran turbulen (*turbulently ventilated cleanrooms*) dan *cleanroom* dengan ventilasi aliran searah (*unidirectional flow cleanrooms*). Sedangkan berdasarkan klasifikasinya, *clean room* dibedakan menjadi dua macam yaitu *Industrial cleanroom* dan *biological cleanroom* [6].

Jenis *cleanroom* pada TFME adalah ventilasi aliran turbulen. Prinsip kerjanya adalah dengan menipiskan udara yang penuh partikel di dalam *cleanroom* dengan memompa udara bersih ke dalamnya. Selain itu jumlah udara yang dialirkan ke dalam sama dengan jumlah udara yang dialirkan ke luar, sehingga jumlah partikel pengotor dapat dikurangi [7].

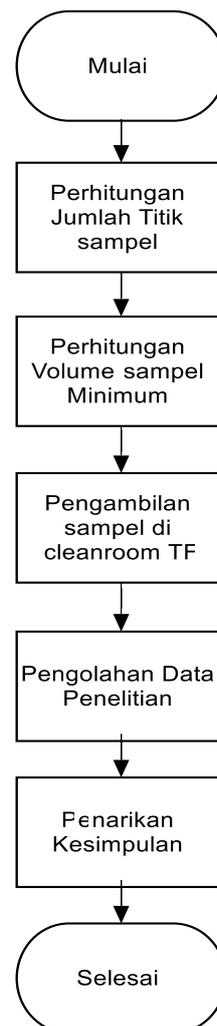
Terdapat dua Standar/acuan utama yang digunakan untuk *cleanroom* yaitu standar U.S Federal dan ISO 14644. Sedangkan standar lain yang telah digunakan untuk *cleanroom* adalah *Federal Standard 209 E*, *German Standard: VDI 2083*, *British Standard: BS 5295*, *Japanese Industrial Standard: JIS B 9920*, *Australian Standard AS 1386*, *Frensch Standard: AFNOR X 44101*, *Deutch Standard VCCN-RL-1* dan *Rusian Standard: GOST R 50766-95*. Namun pada penelitian ini, standar *cleanroom* yang digunakan mengacu pada ISO 14644 (*cleanrooms and*

associated controlled environments).

Standar *cleanroom* ISO 14644 terdiri atas berbagai klasifikasi. Salah satunya adalah standar mengenai penentuan jumlah partikel yang terdapat di *cleanroom* [8]. Fokus pada penelitian ini, adalah penentuan jumlah partikel di dalam *Cleanroom Teaching Factory Manufacturing of Electronic (TFME)* Politeknik Negeri Batam. Pengukuran ini akan menentukan apakah jumlah partikel pengotor masih dapat dikontrol sesuai dengan desain awal dari *cleanroom* yaitu ISO kelas 7. Jika sesuai maka produk elektronik yang dibuat di dalam TFME terlindungi oleh sistem penyaringan partikel *cleanroom* yang dibuat. Namun jika tidak sesuai dengan standar ISO kelas 7 maka perlu dilakukan perawatan atau perbaikan pada sistem penyaringan partikel.

2. Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan di *Teaching Factory Manufacturing of Electronic (TFME)* Politeknik Negeri Batam. Metode yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Metoda ini sesuai dengan standar pengukuran ISO 14644-1[7]. Adapun deskripsi dari masing-masing langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan Jumlah Titik sampel minimum

Langkah pertama yang harus dilakukan adalah menghitung berapa jumlah titik sampel minimum yang perlu diambil berdasarkan luas *cleanroom*. Perhitungan yang digunakan menggunakan persamaan 1.

$$N_i = \sqrt{p} \cdot L \tag{1}$$

Dengan nilai P dan L adalah sebagai berikut:

Panjang (P) *cleanroom* = 13.2 meter,

Lebar (L) *cleanroom* = 7.2 meter

Sehingga diperoleh hasil sebagai berikut:

$$N_i = \sqrt{p} \cdot L$$

$$N_i = 9.75$$

$$N_i = 10$$

Jadi $N_i = 10$ titik berdasarkan perhitungan dengan menggunakan persamaan 1.

2. Perhitungan Volume sampel minimum

Acuan partikel yang digunakan untuk perhitungan volume dengan sampel minimum merujuk pada partikel dengan ukuran $\geq 0.5 \mu\text{m}$.

Batas jumlah partikel yang digunakan untuk ukuran $\geq 0.5 \mu\text{m}$ adalah mengacu pada tabel 1.

Tabel 1. Standar ISO Kelas 7 [8]

Kelas ISO	Batas Maximum konsentrasi (Partikel/m ³) di udara					
	$\geq 0.1 \mu\text{m}$	$\geq 0.2 \mu\text{m}$	$\geq 0.3 \mu\text{m}$	$\geq 0.5 \mu\text{m}$	$\geq 1 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$
1	10 ¹	2				
2	10 ²	24	10	4		
3	10 ³	237	102	35	8	
4	10 ⁴	237 x 10 ¹	102 x 10 ¹	352	83	
5	10 ⁵	237 x 10 ²	102 x 10 ²	352 x 10 ¹	83 x 2	29
6	10 ⁶	237 x 10 ³	102 x 10 ³	352 x 10 ²	83 x 2 x 10 ¹	293
7	10 ⁷			352 x 10 ³	83 x 2 x 10 ²	293 x 10 ¹

Berdasarkan tabel 1 terlihat bahwa batas jumlah partikel untuk kelas 7 pada ukuran $\geq 0.5 \mu\text{m}$ adalah 352000.

Jika dimasukan kedalam rumus adalah sebagai berikut:

$$Vm = \frac{20}{a} \cdot 1000$$

Keterangan :

V_m : Volume maksimum/volume minimum

a : Jumlah batas partikel sesuai kelas

$$Vm = \frac{20}{35200/m^3} \cdot 1000$$

$$Vm = 0.057 \text{ liter}$$

Dengan menggunakan perhitungan diatas, volume minimum sampel adalah 0.057 liter. Agar pengukuran lebih teliti, pada penelitian ini diambil ukuran sampel yang lebih besar yaitu 2.8 liter. Pengambilan volume sampel lebih besar dari volume minimum tidak melanggar standar ISO yang ditetapkan. Pelanggaran terjadi jika pengambilan sampel yang digunakan adalah kurang dari 0.057 liter.

3. Pengambilan sampel di *cleanroom* TF

Pengambilan sampel dilakukan pada 10 titik yang berbeda pada ketinggian kerja dari masing-masing alat. Pengambilan 10 titik ini berdasarkan pada perhitungan jumlah titik sampel minimum yang telah dilakukan sebelumnya. Alat ukur yang digunakan adalah *Aerotrak Handheld Particle Counter* 9306. Gambar dari alat tersebut dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Alat ukur *particle counter*

Alat ini akan menghisap udara yang mengandung partikel. Di dalamnya ada *photodiode* yang akan menangkap cahaya yang dihamburkan oleh partikel ketika melewati zona penginderaan akibat terkena gelombang cahaya laser dari laser dioda. Cahaya yang dihamburkan ini dikonsentrasikan oleh sistem lensa dan diubah oleh *photodiode* menjadi pulsa listrik. Amplitudo dari pulsa listrik ini dikonversi menjadi ukuran partikel.

3. Hasil dan Diskusi

Pengukuran partikel diambil pada bulan Februari 2020 dengan kondisi tidak ada pekerjaan di dalam *cleanroom* (*at rest*). Rata-rata dari keseluruhan sampel dihitung dengan menggunakan persamaan 2.

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^{i=10} C_i}{10} \quad (2)$$

Hasil dari pengambilan sampel dan perhitungan menggunakan persamaan 2 disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran dan perhitungan

A	P (um)					B (um)	C
	0.5	1	3	5	10		
1	71	54	33	19	10	187	66786
2	23	11	4	3	1	42	15000
3	154	117	55	33	12	371	132500
4	29	18	10	5	2	64	22857
5	118	76	26	15	4	239	85357
6	89	50	23	15	8	185	66071
7	40	29	15	11	7	102	36429
8	78	49	21	13	4	165	58929
9	35	28	14	9	3	187	66786
10	59	41	22	10	5	42	15000
							$\bar{c} = 56446$

Keterangan

- A : Sampel pada lokasi ke-n
- P : Jumlah Partikel Sesuai Ukurannya (Partikel/2.8 liter)
- B : Jumlah dari masing-masing lokasi mulai dari 0.5 um
- C : Konversi ke m³ (Partikel/m³)

Contoh konversi dari kolom B ke C adalah sebagai berikut:

$$1 \text{ liter} = 1 \text{ dm}^3 = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$187 \text{ partikel} / 2.8 \text{ liter} = ((187 \times 10^3) / 2.8)$$

$$= 66786 \text{ partikel/m}^3$$

Nilai \bar{c} jauh lebih kecil dari batas maksimum partikel untuk kelas 7 yaitu (352.000). Dengan nilai yang diperoleh menunjukkan bahwa *cleanroom* TF sesuai dengan standar ISO Kelas 7.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengukuran dan perhitungan yang telah dilakukan, *cleanroom* di TFME sesuai dengan ISO Class 7 dengan nilai rata-rata 56446 Partikel/m³ dengan jumlah sampel lokasi sebanyak 10 titik. Sehingga peluang terjadinya cacat produk akibat partikel pengotor rendah. Selain dari itu, sistem penyaringan partikel yang ada masih bekerja dengan baik. Rekomendasi untuk *cleanroom* di TFME adalah dilakukannya cek secara berkala 1 bulan sekali sehingga kualitas dari udara yang ada tetap terjaga

dengan baik

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada *Teaching Factory Manufacturing of Electronic (TFME)* Politeknik Negeri Batam yang telah memberikan dukungan dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] G. Jeevanandam, V. van der Meijden, L. D. Birnie, P. Kruit, and C. W. Hagen, "Cleanroom in SEM," *Microelectron. Eng.*, vol. 224, p. 111239, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.mee.2020.111239.
- [2] L. Zhou, W. Sun, C. Huang, H. Li, Z. Zou, and C. Wu, "Studies on Comparison of Particle Concentration Models for Cleanroom," *Procedia Eng.*, vol. 205, pp. 3308–3315, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.10.343.
- [3] X. Shao, K. Hashimoto, L. Fang, A. K. Melikov, K. G. Naydenov, and C. Rasmuseen, "Experimental study of airborne particle transmission through the doorway of a cleanroom due to the movement of a person," *Build. Environ.*, vol. 183, p. 107205, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.buildenv.2020.107205.
- [4] T. Sandle, "Chapter 5 - Cleanrooms and Environmental Monitoring," in *Biocontamination Control for Pharmaceuticals and Healthcare*, T. Sandle, Ed. Academic Press, 2019, pp. 65–82.
- [5] W. Whyte, *Cleanroom Technology: Fundamentals of Design, Testing and Operation*. John Wiley & Sons, 2001.
- [6] A. Gupta, "Chapter1 Clean Room Technology," 2019.
- [7] Z. Xu and B. Zhou, *Fundamentals of Air Cleaning Technology and Its Application in Cleanrooms*. 2014.
- [8] T. Sandle, *ISO 14644 - Revised Cleanroom Standard*. 2016.